

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1933

THÈSE

POUR

N°

215

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

PAR

Charles DANGAUTHIER

Né le 12 mai 1908, à Saulieu (Côte-d'Or)

Ex-Externe des Hôpitaux de Paris

Diplômé de l'Institut d'Hygiène de Paris

L'ASSAINISSEMENT BIOLOGIQUE

DES

RÉSIDUS URBAINS

Président : M. TANON, professeur

PARIS

LIBRAIRIE LE FRANÇOIS

91, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 91

1933



FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1933

THÈSE

N°

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

PAR

Charles DANGAUTHIER

Né le 12 mai 1908, à Saulieu (Côte-d'Or)

Ex-Externe des Hôpitaux de Paris

Diplômé de l'Institut d'Hygiène de Paris

L'ASSAINISSEMENT BIOLOGIQUE

DES

RÉSIDUS URBAINS

Président : M. TANON, professeur

PARIS

LIBRAIRIE LE FRANÇOIS

91, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 91

1933

DOYEN.. M. BALTHAZARD

I. — PROFESSEURS

MM.

Anatomie	ROUVIÈRE.
Anatomie médico-chirurgicale et chirurgie expérimentale.....	N..
Physiologie	Léon BINET.
Physique médicale.....	STROHL.
Chimie médicale.....	DEGREZ.
Bactériologie	DEBRÉ.
Parasitologie et histoire naturelle médicale.....	BRUMPT.
Pathologie et thérapeutique générales.....	BAUDOUIN.
Pathologie médicale.....	CLERC.
Pathologie chirurgicale.....	MAISON.
Anatomie pathologique.....	ROUSSY.
Histologie	CHAMPY.
Pharmacologie et matière médicale.....	TIFFENEAU.
Thérapeutique	LOEPER.
Hygiène et médecine préventive.....	TANON.
Médecine légale	BALTHAZARD.
Histoire de la médecine et de la chirurgie.....	LAIGNEL-LAVASTINE.
Pathologie expérimentale et comparée.....	FIESSINGER.
Hydrologie thérapeutique et climatologie.....	Maurice VILLARET.
Clinique médicale.....	CARNOT.
	BEZANÇON.
	ACHARD.
	Marcel LABBÉ.
Hygiène et clinique de la première enfance.....	LEREBoullet.
Clinique des maladies des enfants.....	NOBÉCOURT.
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale...	H. CLAUDE.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques.....	GOUGEROT.
Clinique des maladies du système nerveux.....	GUILLAIN.
Clinique des maladies infectieuses.....	LEMIERRE.
	LENORMANT.
Clinique chirurgicale.....	CUNÉO.
	GRÉGOIRE.
	GOSSET.
Clinique ophtalmologique.....	TERRIEN.
Clinique urologique.....	LEGUEU.
	COUVELAIRE.
Clinique d'accouchements.....	BRINDEAU.
	JEANNIN.
Clinique gynécologique.....	J.-L. FAURE.
Clinique chirurgicale infantile et orthopédie.....	OMBRÉDANNE.
Clinique thérapeutique médicale.....	RATHERY.
Clinique oto-rhino-laryngologique.....	LEMAITRE.
Clinique thérapeutique chirurgicale.....	Pierre DUVAL.
Clinique propédeutique.....	SERGENT.
Clinique de la tuberculose.....	Léon BERNARD.
Clinique chirurgicale orthopédique de l'adulte.....	MATHIEU.
	HOVELACQUE.
Professeurs sans chaire.....	MAUCLAIRE.
	MULON.
	VERNE.



II. — AGRÉGÉS EN EXERCICE

MM.

ALAJOUANINE.. Neurologie et Psychiatrie.
 AUBERTIN Pathologie médicale.
 BÉNARD (H.)... Pathologie médicale.
 BROCCQ Pathologie chirurgicale.
 BRULÉ Pathologie médicale.
 BUSQUET Pharmacologie.
 CADENAT Pathologie chirurgicale.
 CATHALA Pathologie médicale.
 CHABROL Pathologie médicale.
 CHAILLEY-BERT . Physiologie.
 CHEVALLIER.. Pathologie médicale.
 DOGNON Physique.
 DONZELOT Pathologie médicale.
 ÉCALLE Obstétrique.
 FEY Urologie.
 GASTINEL Bactériologie.
 GATELLIER ... Pathologie chirurgicale.
 DE GAUDART D'ALLAINES. Pathologie
 chirurgicale.
 GIROUD Histologie.
 HALPHEN Otc-rhino-laryngologie.
 HARVIER Pathologie médicale.
 HAZARD Pharmacologie
 HUGUENIN ... Anatomie pathologique.
 HUTINEL Pathologie médicale.
 JOANNON Hygiène.

MM.

LABBÉ (Henri) . Chimie biologique.
 LAROCHE (G.).. Pathologie médicale.
 LEVEUF Pathologie chirurgicale.
 LÉVY-VALENSI. Neuro-psychiatrie.
 LIAN Pathologie médicale.
 MONDOR Pathologie chirurgicale.
 MOREAU Pathologie médicale.
 MOULONGUET . Pathologie chirurgicale.
 MOURE Pathologie chirurgicale.
 OBERLING Anatomie pathologique.
 OLIVIER Anatomie.
 PIEDELIEVRE . Médecine légale.
 PORTES Obstétrique.
 QUÉNU Pathologie chirurgicale.
 RICHET Physiologie.
 SANNIÉ Chimie biologique.
 SÉZARY Dermatologie et Syphili-
 graphie.
 TROISIER Pathologie expérimentale
 et comparée.
 VALLERY-RADOT (Pasteur). Pathologie
 médicale.
 VAUDESCAL .. Obstétrique.
 VELTER Ophthalmologie.
 VIGNES Obstétrique.

III. — AGRÉGÉS RAPPELES A L'EXERCICE

POUR LE SERVICE DES EXAMENS

MM.

LEQUEUX Obstétrique.
 LEROUX Anatomie pathologique.
 NEVEU-LEMAIRE. Parasitologie.

MM.

RETTERER Histologie.
 ZIMMERN Physique.

IV. — AGRÉGÉS CHARGÉS DE COURS DE CLINIQUE ANNEXE

A TITRE PERMANENT

MM.	
ABRAMI	Clinique médicale.
CHIRAY	Clinique médicale.
N.	Clinique médicale.
DUVOIR	Clinique médicale.
BASSET	Clinique chirurgicale.
CHEVASSU	Clinique chirurgicale.
HEITZ-BOYER	Clinique chirurgicale.

MM.	
MOCQUOT	Clinique chirurgicale.
PROUST	Clinique chirurgicale.
SCHWARTZ ...	Clinique chirurgicale.
LE LORIER	Clinique obstétricale.
LÉVY-SOLAL ..	Clinique obstétricale.
METZGER	Clinique obstétricale.
GUÉNIOT	Clinique obstétricale.

V. — CHARGÉS DE COURS

MM. MAUCLAIRE, professeur sans chaire	Chargé du cours de chirurgie orthopédique chez l'adulte pour les accidentés du travail, les muti- lés de guerre et les infirmes adultes. Stomatologie. Éducation physique. Radiologie clinique. Puériculture.
FREY	
CHAILLEY-BERT, agrège	
LEDoux-LEBARD	
WEIL-HALLÉ.....	

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A MA FAMILLE

*Qui par ses qualités héréditaires
d'humanité, de probité et de dévouement
m'a tracé le chemin du Devoir
Médical. Bien affectueuse reconnais-
sance.*

A M. LE PROFESSEUR TANON

Professeur d'Hygiène à la Faculté de Médecine de Paris
Médecin chef des Services d'hygiène de la Préfecture de Police
Conseiller technique sanitaire du Ministère de la Santé Publique
Officier de la Légion d'honneur

Qui a bien voulu nous faire l'honneur de présider cette thèse, en souvenir de la direction si bienveillante que nous apprécions tous hautement à l'Institut d'Hygiène.

A M. LE PROFESSEUR BORDAS

Inspecteur général honoraire des Services d'hygiène

à la Préfecture de Police

Membre du Conseil Supérieur d'Hygiène

Commandeur de la Légion d'honneur

*Qui nous a inspiré cet exposé, après
nous avoir aidé de ses conseils et
assuré le profit de ses travaux et de
son expérience. Sentiments de respec-
tueuse gratitude.*

A M. LE DOCTEUR NEVEU

Chef de laboratoire du Service des Epidémies

Préparateur au Collège de France

Assistant au laboratoire d'Hygiène de la Faculté de Médecine

*Pour les renseignements qu'il nous
a donné avec une obligeance inépu-
sable.*

A MONSIEUR J. BORDAS

Ingénieur agronome

*Dont les publications ont guidé nos
premières recherches et qui nous a
facilité la visite des usines d'Aix-en-
Provence.*

A M. A. CARACACHE

Ingénieur-Architecte

*Qui nous fit apprécier à Aix-en-Pro-
vence les modalités pratiques de ce
procédé.*

A MES MAÎTRES DES HOPITAUX

MM. LES :

PROFESSEUR CARNOT, Hôtel-Dieu, 1928

PROFESSEUR GOSSET, Salpêtrière, 1928

DOCTEUR RICHE, Tenon, 1929

DOCTEUR FLANDIN, Broussais, 1930

DOCTEUR TOURAINE, Broca, 1931

DOCTEUR MARCHAL, Broussais, 1931

PROFESSEUR COUVELAIRE, Baudelocque, 1932

Respectueux sentiments de gratitude pour l'enseignement si éclairé qu'ils nous ont toujours dispensé avec une bienveillante autorité.

A MES MAÎTRES DE L'INSTITUT D'HYGIÈNE

Sentiments reconnaissants.

MEIS ET AMICIS

L'ASSAINISSEMENT BIOLOGIQUE DES RÉSIDUS URBAINS

INTRODUCTION

La destruction des résidus de la vie urbaine et industrielle a été de tous temps une source de préoccupation pour les hygiénistes.

Il n'existe pas de solution unique car les gadoues sont des produits hétérogènes dont la composition chimique varie beaucoup selon les régions et même selon les époques de l'année.

Sur ces préoccupations hygiéniques viennent se greffer des considérations d'ordre économique et agricole ; en effet ces résidus contiennent des matières organiques qui normalement doivent retourner au sol.

Cette question revêt un caractère d'autant plus appréciable que l'emploi de la traction mécanique dans les travaux agricoles rend le fumier de plus en plus rare.

Cette importante question de l'utilisation des résidus urbains a déjà fait l'objet de nombreux rapports et études intéressantes qui permettent de classer en deux groupes les procédés de traitement actuellement préconisés :

1° La destruction des ordures par la chaleur et la récupération des sous-produits ;

2° L'utilisation agricole des ordures ménagères.

Les nombreux procédés du premier groupe, étudiés par des spécialistes, représentent à l'heure actuelle une véritable industrie avec ses avantages et ses inconvénients.

On ne peut en dire autant de l'utilisation agricole des gadoues. Se heurtant à la grave question de l'hygiène, il semblait beaucoup plus difficile d'arriver dans cette voie à une solution du problème. Tout le monde sait que dans chaque exploitation agricole on a continué de récupérer les résidus des étables pour en faire un fumier qui restituera au sol une partie des éléments utiles. Il semble donc logique que dans les villes on songe à récupérer tous les résidus urbains, afin de les transformer en un humus qui redonnera à la terre une partie des matières fertilisantes nécessaires.

Mais dans les fermes comme dans les villes, l'utilisation agricole des résidus se fait jusqu'ici dans des conditions hygiéniques défectueuses.

Le procédé que nous proposons, qui peut d'ailleurs s'étendre à tous les résidus urbains, semble avoir résolu le problème au triple point de vue hygiénique, agricole et économique.

ANCIENS PROCÉDÉS DE DESTRUCTION

Examinons tout d'abord la composition des ordures ménagères.

Ces résidus, nous l'avons vu, sont loin de comprendre les mêmes produits dans toutes les villes.

Ils se composent en premier lieu de produits fermentescibles tels que résidus de cuisine, substances d'origine animale et végétale, balayures des rues contenant de la paille, des feuilles mortes, du crottin.

Ils contiennent également des produits combustibles tels que papier, carton, chiffons, résidus de charbon, paille, feuilles mortes. Enfin on y trouve également des produits qui ne sont ni fermentescibles ni combustibles, ce sont des boîtes de conserve, des débris de verre, du cuir, des os frais, des cendres, des pous-sières.

Nous allons donner un court aperçu de la diversité de leur composition selon les pays.

En Angleterre où le charbon est abondant et où les cendres de foyer sont plus riches en charbon brûlé, les gadoues sont encore riches en éléments combustibles. Il faut d'ailleurs remarquer que c'est en Angleterre que l'incinération a pris naissance.

En Allemagne, où l'on se sert partout de briquettes pour le chauffage, les cendres sont pauvres en carbone.

Dans les pays méridionaux, la combustibilité des gadoues est nulle pour la double raison suivante : on se chauffe moins et avec beaucoup de bois, d'autre part la proportion des débris de légumes est très abondante.

En Amérique, les ordures sont très riches en papier et en graisses, ce qui a donné lieu à un procédé qui consiste à traiter les gadoues par la vapeur d'eau pour en extraire la graisse.

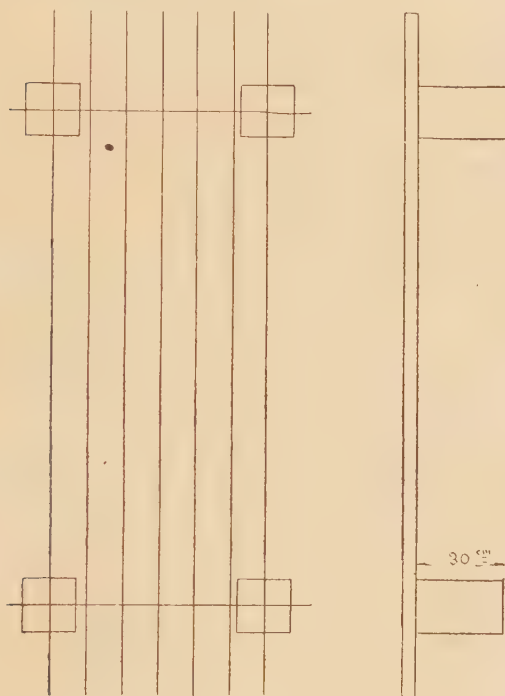
Au point de vue microbien la masse des gadoues est facilement envahie, en cas d'épidémie, par les microbes pathogènes.

On conçoit donc toute l'utilité de rendre ces résidus stériles.

Nous allons tout d'abord jeter un coup d'œil sur les anciens procédés employés jusqu'ici. On peut les classer en deux grandes catégories : les procédés agissant par incinération et les procédés agissant par fermentation.

Citons tout d'abord le procédé avec dispositif à feu discontinu ou procédé Chincholl qui permet la destruction des gadoues en les brûlant chaque jour ; c'est un procédé rudimentaire qui a rendu des services pendant la guerre. À cette époque il fut utilisé au camp de Satory par notre Maître pour détruire une grande quantité d'immondices accumulés là depuis longtemps. On avait construit 4 piliers cubiques en maçonnerie élevés de 35 centimètres. De vieux rails étaient placés

de façon à former une grille à mailles assez fines. Le feu une fois allumé, il suffisait d'un homme pour entretenir de temps à autre le brasier, par apport nouveau de matières à détruire.



Le procédé avec dispositif à feu continu est de beaucoup le plus employé. On utilise le système Siemens, tombé dans le domaine public, pour le réchauffage de l'air de combustion, ce qui permet de supprimer l'emploi du charbon et de rendre les gadoues relativement plus combustibles.

Chaque usine d'incinération comprend schématiquement :

Le four incinérateur,

Le dispositif d'aménage des gadoues qui est le plus souvent discontinu,

La récupération de la chaleur par transformation de l'énergie calorifique en énergie électrique,

L'utilisation des scories qui peuvent servir à la fabrication de briques en mâchefer.

Les modèles de fours français en service s'équivalent à peu près en ce qui concerne les qualités thermiques. Ils diffèrent surtout par les procédés de dégrassage plus ou moins ingénieux selon les modèles.

Les plus connus sont : le four Alexis Godillot, à mouvement demi-circulaire ; le four Fichet-Heurtey ; le four Bréchet à chargement discontinu et le four Boussange, utilisé à l'usine d'Issy.

Tous ces procédés se servent de très fortes températures ; il existe d'autres procédés d'incinération à température relativement basse.

Un premier procédé utilise la destruction entre 300 et 600° et a pour but de récupérer l'ammoniaque et de produire des gaz combustibles qui sont brûlés dans des chaudières ou des moteurs à explosion. Mais les résultats déçurent les espérances que l'on était en droit d'attendre ; en effet le gazogène est un appareil délicat et sa marche en est rendue d'autant plus difficile que le combustible employé, les gadoues en la circonstance, est loin d'avoir une composition constante.

Le procédé Sathon opère d'abord une stérilisation des ordures à 150°, puis il est procédé à un triage pour

recupérer d'une part les matières minérales servant à la fabrication de la pierre artificielle, et d'autre part des matières organiques servant de base soit à la fabrication des combustibles, soit à celle des engrais.

Enfin nous rappellerons encore le traitement des gadoues par la vapeur pour en retirer les matières grasses. Ce procédé n'est guère applicable qu'aux Etats-Unis où les ordures sont très riches en graisse.

Comme conclusion à ce bref exposé du traitement des ordures ménagères par la chaleur, nous allons examiner les avantages, puis les inconvénients qui y sont inhérents.

Du point de vue hygiénique ces procédés ont conquis d'emblée tous ceux qui s'intéressent à l'hygiène urbaine. En effet, le résidu définitif obtenu est un produit stérile, présentant une inocuité absolue. Cependant il ne faut pas oublier que ces ordures ménagères avant d'être traitées sont en contact assez prolongé avec l'air, car elles ne passent pas immédiatement dans les fours et il y a un espace de temps plus ou moins long à partir de la collecte où elles stationnent dans l'usine en milieu surchauffé et l'on peut craindre alors certains méfaits au point de vue sanitaire. D'autre part les gadoues introduites dans les trémies de combustion ne sont pas immédiatement en contact avec le brasier incandescent, elles distillent donc et rejettent par la cheminée tous les produits pyroligneux de la distillation avec odeur nauséabonde. Donc au point de vue hygiène rien n'est changé avant et pendant le traitement, seul le résidu est stérile.

Du point de vue économique, qui intéresse, à juste titre d'ailleurs, les municipalités chargées de veiller à l'hygiène de leurs concitoyens et aux finances de la ville, ces procédés ne peuvent être non plus très satisfaisants.

En effet, il ne faut pas oublier, d'une part, que la construction d'une usine d'incinération est assez onéreuse. d'autre part, que l'entretien de ces fours, marchant à des températures élevées, est lui-même fort onéreux, car leur réfection doit être pratiquée plusieurs fois par an. Et enfin il faut considérer aussi que le sous-produit retiré, en l'occurrence le mâchefer, est d'une bien faible valeur marchande car si l'on a pu le transformer en briques, il est indéniable qu'elles n'offrent pas un aspect très séduisant.

Enfin, il y a lieu de noter aussi que l'incinération des ordures ménagères détruit purement et simplement des matières fertilisantes telles que l'azote, l'acide phosphorique, la potasse qui normalement, devraient retourner au sol.

Après avoir pesé les avantages et les inconvénients des procédés agissant par incinération, examinons maintenant les procédés agissant par fermentation. Cette fermentation peut avoir lieu soit en laissant la nature agir elle-même en quelque sorte, soit en vase clos.

Le procédé le plus simple et, il faut bien l'avouer, le plus répandu dans les campagnes et les petites villes, consiste à faire un dépôt des gadoues aux environs des villes où elles sont reprises tout ou en partie par les agriculteurs.

Ce n'est évidemment pas un procédé à recommander et cela à tous les points de vue.

Au point de vue hygiénique il s'agit là d'un véritable foyer d'infection qui va bientôt attirer les rats et les mouches ainsi que tous leurs dangers. De plus, les germes pathogènes vont s'infiltrer dans le sol à la faveur des pluies et aller polluer la nappe d'eau souterraine.

Du point de vue économique, ce procédé est lui-même mauvais car les municipalités ont à supporter les frais de transport des gadoues sans en retirer aucun bénéfice.

Enfin, du point de vue agricole, les pluies lavent la masse et lui enlèvent les éléments solubles utiles à l'agriculture. Une partie de l'azote se perd également sous forme de gaz ammoniacaux.

Un perfectionnement de ce procédé rudimentaire consiste à utiliser les gadoues après triage, broyage et tamisage.

Le broyage a pour but de pulvériser les gadoues, il ne supprime pas les déchets inertes tels que fer blanc et verre, mais les rend inoffensifs et enlève les risques de blessure.

Ce procédé est utilisé à Southwark en Angleterre. Il faut signaler aussi le procédé Pioger-Terrin, installé à Saint-Ouen en 1897 qui réduit par le broyage les gadoues en une substance plus homogène après avoir enlevé, au préalable, les produits non fermentescibles au moyen d'un triage sur tapis roulant.

Mais tous ces procédés comportent les mêmes res-

trictions hygiéniques et agricoles que nous avons signalées plus haut et absorbent en plus une dépense d'énergie assez considérable.

Nous avons vu tous les inconvénients que comporte la fermentation des résidus urbains abandonnés à eux-mêmes, nous allons étudier maintenant la fermentation des gadoues en vase clos.

On sait que les gadoues noires, c'est-à-dire les gadoues fermentées, ont une valeur agricole plus grande que les autres. On a donc cherché à réduire les pertes des matières fertilisantes que subissent les gadoues brutes, tout en évitant les inconvénients des dépôts à l'air libre.

En premier lieu, nous citerons le procédé Beccari, le plus connu de ces systèmes d'utilisation des gadoues qui fonctionne à Florence, Naples, Navarre, Carrare et Bologne. Le Dr Beccari, préoccupé du fait que, dans les exploitations rurales de la Toscane, le fumier des étables, soumis à des traitements irrationnels, perdait la meilleure partie de ses propriétés fertilisantes, se mit à la recherche d'un système permettant d'éviter ces pertes.

C'est donc, tout d'abord, au fumier de ferme que s'appliqua le procédé Beccari ; par la suite on l'étendit au traitement des résidus urbains.

Le principe du procédé consiste à faire fermenter dans une chambre close le fumier, ou bien les ordures ménagères préalablement débarrassées des produits inertes.

Ces chambres ont une capacité de 20 mc. et reçoivent

vent une aération convenable. Aussitôt le chargement fait, les diverses fermentations commencent : dégradation de la substance organique, de la matière grasse et de la cellulose, ainsi que le phénomène de la nitrification.

Les gaz qui se dégagent, sont au début un peu de méthane, de phosphure d'hydrogène, d'hydrogène sulfuré, puis de vapeur d'eau, des gaz ammoniacaux et surtout de l'acide carbonique.

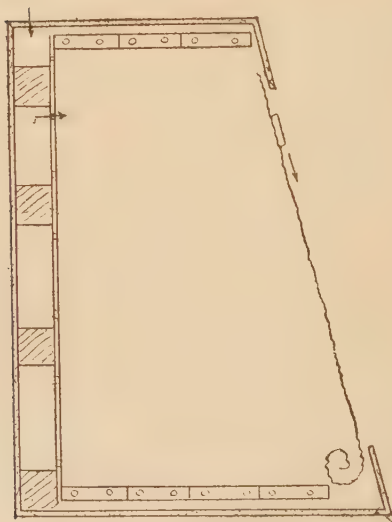
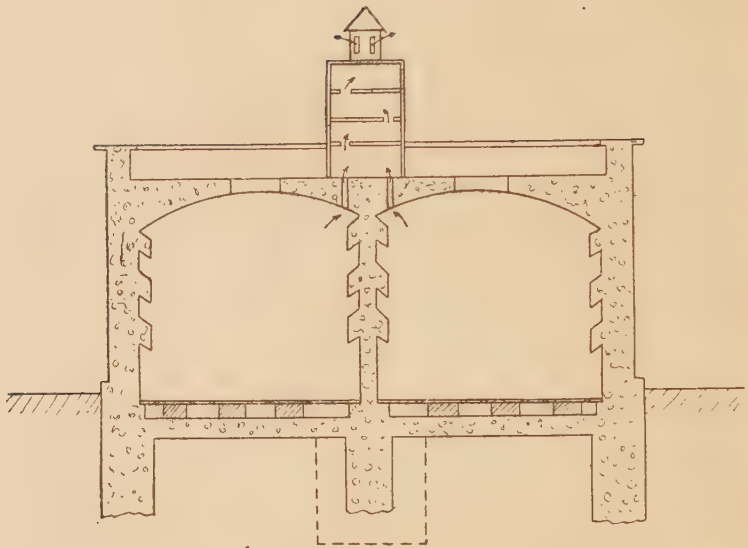
Ces différents produits vont vers une cheminée précédée d'une tourelle munie d'étages en chicane. Sur ces étages on met de la terre argileuse avec du sulfate de fer ou du superphosphate de chaux pour fixer les produits ammoniacaux.

Dans les cellules de fermentation, la température atteint 70 à 75°, cette température, empêchant l'action des bactéries dénitrificatrices, réduit au minimum les pertes d'azote.

La durée de fermentation est de quarante jours en moyenne.

On peut également ajouter dans ces chambres de fermentation des résidus organiques de toutes sortes, tels que : feuilles mortes, marc de pommes, et même des cadavres d'animaux qui y seront rapidement détruits par les ferments de l'urée, comme nous le montrerons plus loin, d'après les travaux faits pendant la guerre par notre maître et M. S. Bruère sur la désintégration de la matière organique par protéolyse microbienne.

L'installation comprend une série de cellules en maçonnerie d'une contenance de 20 mètres cubes,



Procédé Beccari.

dont le plancher en béton est incliné légèrement pour recueillir, dans un petit puits, le peu de liquide provenant de l'arrosage de la masse.

A 20 centimètres au dessus de ce fond, se trouve un faux fond en plaques de ciment percées de trous.

L'aération se fait d'une part par ce faux fond, d'autre part par les côtés de la cellule.

La partie supérieure de la cellule est en brique et béton ; elle possède une ouverture permettant de faire le chargement par en haut.

A cheval sur deux cellules, se trouve une petite tour en ciment, servant au départ des gaz. Dans cette tourelle, se trouvent disposés en chicane quatre paliers en terre cuite avec une ouverture latérale sur chacun d'eux. On dispose sur ces paliers de la terre argileuse sur une épaisseur de 3 à 4 centimètres, saupoudrée de sulfate de fer. Ces paliers servent à retenir les produits ammoniacaux qui s'échappent des chambres.

Cette tourelle est surmontée d'une cheminée de tirage.

L'installation comprend en outre une petite pompe aspirante et foulante destinée à reprendre le liquide de la fosse et à le verser sur les gadoues le premier jour après le chargement. Ces cellules peuvent servir aussi de fosses à fumier.

A Florence, les diverses opérations ont lieu dans l'ordre suivant ;

Tout d'abord on pratique un triage à la main servant à séparer du tas d'immondices tout ce qui peut être revendu séparément tels que : verre, chiffons,

pain, cuir, ferrailles, papier, os, etc... Ce résidu est mis à part dans des chambres spéciales.

Le résidu laissé par les trieurs sert au chargement des chambres de fermentation. Ce chargement s'opère par le haut des cellules où l'on accède par un plan incliné. Quand la cellule est pleine, on ferme la porte et on arrose une fois avec le liquide de la fosse. La fermentation commence aussitôt. La température monte rapidement pour atteindre 40° dès le quatrième jour, 50° le sixième jour, 60° le neuvième et 70 à 75° du 20^e au 25^e jour, puis elle va décroître ensuite progressivement. Trente-cinq à quarante jours après le chargement l'opération est terminée.

Une fois l'opération terminée on décharge la cellule par la porte latérale et on ajoute à la gadoue noire la terre argileuse acide des tourelles. Cette gadoue entassée sous un hangar, à l'abri des intempéries, a l'aspect d'un terreau homogène, sans moisissure ni odeur mais contenant encore des débris inertes ayant échappé au triage préalable.

La gadoue noire est ensuite tamisée pour rendre la masse plus fine en séparant les résidus cellulosiques puis elle est vendue.

Ce procédé est assez satisfaisant au point de vue hygiénique, il donne un résidu stérile car la température qui atteint 75° assez rapidement et se maintient pendant une dizaine de jours, suffit pour anéantir les microbes pathogènes.

D'autre part, il faut noter aussi qu'il n'y a aucune accumulation de gadoue verte, aucune mauvaise odeur

répandue et que les rats et les mouches n'ont pas le temps d'envahir le tas d'immondices.

Cependant, il reste le triage manuel effectué dans des conditions particulièrement antihygiéniques. En effet, les ouvriers travaillent accroupis sur le tas d'ordures et séparent avec leurs mains non gantées les différents produits inertes. Il est évident qu'au cas où une maladie épidémique sévirait en ville il y aurait lieu de prendre d'autres précautions. Il faudrait même au besoin supprimer ce triage et verser telles quelles les ordures ménagères dans les cellules, quitte à faire le tri après le traitement, ce qui évidemment augmenterait de beaucoup les frais.

Au point de vue agricole, ce procédé permet de récupérer un produit précieux et de le présenter sous une forme plus vendable et facilement stockable.

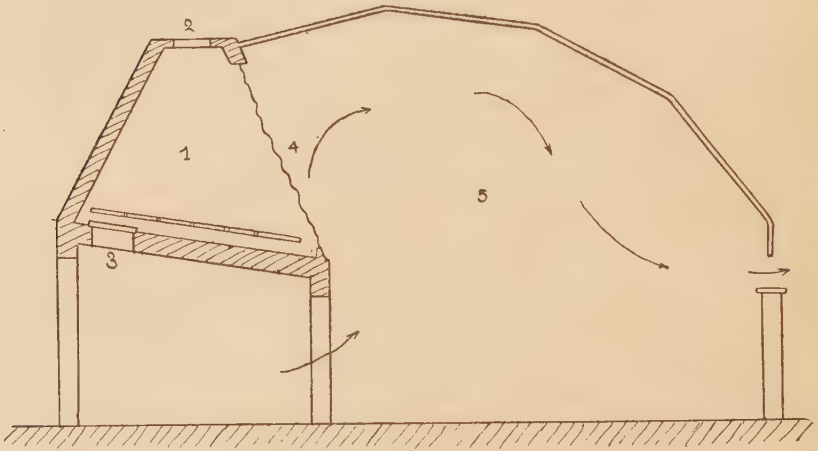
Au point de vue économique, son prix d'installation est beaucoup moins coûteux que celui d'un procédé d'incinération. D'autre part la valeur marchande des gadoues noires est bien supérieure à celle du mâchefer provenant de l'incinération.

Le procédé du Dr Beccari n'est pas le seul à utiliser la fermentation comme traitement des ordures ménagères.

M. Anger a modifié le procédé que nous venons d'étudier, en ce qui concerne la disposition des cellules zymothermiques et la manière de les décharger.

La cuve de 20 mètres cubes est surélevée au-dessus du sol. Un orifice de 0 m. 70 $\times$ 0 m. 70 est percé au milieu du fond. Si, après fermentation, on ouvre son

opercule, la masse forme voûte et il ne tombe que très peu de matière. M. Anger eut alors l'idée de placer sur le pourtour de la trappe une série de barreaux verticaux, formant une sorte de cage où l'on mettra aussi de la gadoue et qui descendra avec l'opercule. A quelques centimètres autour de cette cage et reposant



1. Cellule de fermentation.
2. Chargement.
3. Déchargement.
4. Tôle ondulée.
5. Serre.

sur le fond fixe se trouve une seconde cage de barreaux verticaux. Pendant la fermentation l'air passera entre les deux cages. Pour vider le terreau on laisse descendre dans le sous-sol de la cuve l'opercule, la cage intérieure et la gadoue qu'elle contient. Le manœuvre qui se tient sur le toit a sous ses pieds un trou gardé par des barreaux de la cage fixe ; il enlève les barreaux d'un côté et fait tomber le terreau.

A la partie nord de la cuve est accolée une serre chauffée par contact, cette paroi est constituée par de la tôle ondulée.

Quatre cuves ainsi équipées fonctionnent à Villeneuve-Saint-Georges. Le triage est fait par un trommel à ventilateur qui enlève en hiver une partie des cendres de charbon.

Tel est ce procédé, mais les modifications apportées n'enlèvent pas les inconvénients du procédé Beccari. En effet, la masse des gadoues, quoique un peu mieux aérée, fermente encore dans des conditions défec-tueuses ; la durée de l'opération s'en trouve prolongée et il y a toujours perte de place du fait du tasse-ment.

De plus on utilise mal la chaleur perdue et la serre risque de refroidir la cellule, la surface de contact étant trop grande. Le triage est plus satisfaisant au point de vue de l'hygiène car il se fait au cours de la collecte où l'on met dans un compartiment spécial des camions, les débris inertes non fermentescibles.

Un autre procédé voisin des précédents, est utilisé à Reggio de Calabre, c'est le procédé Biaggiano-Pico. Par ce procédé on fait fermenter les gadoues dans des tours hermétiques où l'on fait agir l'air comprimé à pression élevée.

Les tours ont huit mètres de hauteur, avec une capacité variant de 100 à 1600 mètres cubes. Le remplissage se fait par la partie supérieure où l'on accède au moyen d'un plan incliné. On déverse les gadoues sans aucun triage préalable. Après avoir rempli la

tour et opéré une fermeture hermétique, on fait arriver l'air comprimé à sept atmosphères, ce qui provoque la fermentation et fait monter la température lentement jusqu'à 70°. La durée de fermentation est de 35 jours. On décharge la cellule par des portes latérales et on opère le triage des gadoues noires qui se trouvent donc stériles à ce moment.

Ce procédé active la fermentation par un moyen mécanique et l'on peut toujours craindre un arrêt accidentel. D'autre part on éprouve de très grosses difficultés à faire pénétrer l'air comprimé dans toute la masse qui est beaucoup trop tassée. De plus cet appareil absorbe en moyenne 14 kilowatts par jour d'énergie et la chaleur produite est totalement perdue.

Au point de vue hygiénique, ce procédé est très recommandable car il prévoit le triage à la fin de l'opération, c'est-à-dire à un moment où les gadoues sont stériles.

Après ce bref exposé des différents traitements des ordures ménagères, utilisés jusqu'ici, nous pouvons faire un bilan.

Si certains, tels que le procédé Biaggiano-Pico satisfont l'hygiéniste, les autres en général opèrent un triage manuel des gadoues vertes, ce qui peut présenter de graves inconvénients.

De plus les procédés par incinération détruisent les matières fertilisantes dont ont grand besoin l'agriculture et les cultures maraîchère et florale.

Cependant il ne faut pas oublier que si les procédés

par fermentation trouvent leur application dans les régions méridionales où les gadoues contiennent une grande quantité de matières fermentescibles, les procédés par incinération semblent préférables dans les régions septentrionales où les gadoues contiennent peu de résidus fermentescibles mais une quantité importante de produits combustibles.

Ce qui doit donc guider dans le choix d'un procédé est surtout la composition des gadoues à traiter. Il ne faut pas perdre de vue également que la France, pays agricole, possède certaines régions qui exportent des légumes en grande quantité vers les pays du Nord et de l'Est, et que ces régions de production ont un besoin pressant d'humus, indispensable à la culture maraîchère.

UTILISATION DES RÉSIDUS URBAINS

N'y a-t-il pas un moyen économique d'utiliser ces résidus urbains pour les besoins de nos maraîchers, tout en respectant les principes de l'hygiène ?

Tel est le problème que nous nous sommes posé.

Pour le résoudre, regardons tout d'abord, ce qui se passe dans la nature et quels sont les processus qui président à la désintégration de la matière organique. Un exemple fort simple nous est fourni par la fermentation d'un tas de fumier. Si nous observons dans la cour d'une ferme un tas de fumier en fermentation, nous constatons que la masse n'est nullement homogène, et il en résulte que les réactions doivent varier dans les diverses parties.

Les couches supérieures paraissent très chaudes car en hiver on voit une buée s'en échapper, les couches inférieures semblent froides. Déhérain, en plongeant un thermomètre à différentes profondeurs, dans un tas de fumier, a constaté que la température était de 68° à 70° dans les parties supérieures, de 35° dans la partie moyenne et de 25° dans la couche inférieure.

En aspirant à l'aide de tubes de verre et d'une

trompe le gaz produit, il a trouvé des chiffres de l'ordre suivant :

Hauteur dans le tas de fumier	Acide carbonique	Oxygène	Méthane	Azote
Haut	21,6	0	0	78,4
Milieu	31	0	13	35,9
Bas	37,1	0	58	4,9

Nous constatons que c'est surtout dans la partie inférieure du tas qu'on trouve du méthane, tandis que l'azote y est presque absent. A mesure que l'on s'éloigne de la surface, l'air ne pénètre plus que péniblement et c'est dans la couche inférieure que nous voyons se manifester la véritable vie anaérobie ; or nous savons que la température de ces combustions intérieures est beaucoup moins élevée.

L'influence de l'oxygène sur la température a été démontrée d'une façon fort élégante par M. Gayon.

Ce savant a mis dans deux caisses de mêmes dimensions, l'une en bois, donc peu perméable à l'air, l'autre en fils de fer, à travers laquelle l'air, pouvait librement circuler, la même quantité de fumier. La température n'atteignait pas 15° dans la caisse en bois ; elle était de 72° dans la caisse en fils de fer donc l'élévation thermique se fait en faveur de l'oxygène. Il a vu aussi que la température décroissait à mesure que la profondeur augmentait ; ce refroidissement est dû au desséchement de la masse, car dès qu'on l'humecte la température s'élève à nouveau.

En résumé, nous devons distinguer dans un tas de fumier deux grands phénomènes : la fermentation aéro-

bie en haut avec grand dégagement de chaleur, et la fermentation anaérobie en bas, avec une faible production de chaleur, c'est-à-dire un phénomène d'oxydation véritable et un phénomène de réduction.

Schloesing a mesuré l'intensité de la combustion par la quantité de gaz carbonique dégagé. Il a fait passer un courant d'air continu sur du fumier réparti en 2 lots, l'un stérile, l'autreensemencé avec du fumier rais. Il constata que l'activité microbienne se manifeste jusqu'à 72°, en fournissant 15 fois plus de gaz carbonique, ets'arrête à 80°.

Nous voyons donc que l'oxygène a un rôle prépondérant dans la décomposition du tas de fumier, et que les couches les plus actives sont celles qui se trouvent le plus en rapport avec l'oxygène atmosphérique. Il en résulte que ce sont elles également qui contiennent le plus de microbes aérobies.

Cette particularité est bien connue des cultivateurs qui pour faire disparaître le cadavre des animaux le mettent dans la couche superficielle, donc active du tas de fumier. Dans ces circonstances ces cadavres sont très rapidement détruits ; il n'en serait pas de même s'ils les enfouissaient dans la couche profonde. Ce principe se trouve parfois utilisé également pour faire disparaître des fœtus humains ou des cadavres de nouveau-nés, ce qui en fait un intérêt médico-légal.

Cette étude, de la décomposition d'un tas de fumier nous montre les deux modalités principales de la désintégration de la matière organique.

A savoir : l'érémacausis ou fermentation aérobie et la putréfaction ou fermentation anaérobie.

La décomposition des matières organiques en présence de l'air ou phénomène de l'érémacausis donne naissance, sous certaines conditions de chaleur, de température et d'humidité à de l'acide carbonique, de l'eau et de l'ammoniaque. Les principes minéraux qui se trouvent inactifs et englobés dans la matière organique deviennent libres et se présentent sous une forme assimilable.

Les matières azotées des débris animaux et végétaux existent principalement sous la forme de principes albuminoïdes et d'amides qui se transforment en ammoniaque sous l'influence de la fermentation bactérienne. L'oxygène va transformer les différents constituants de la molécule quaternaire : le carbone devient de l'acide carbonique, le soufre de l'acide sulfurique, l'hydrogène de l'eau. En général l'ammoniaque s'oxyde en présence de l'air pour donner des nitrites puis des nitrates.

Ce sont parmi les hydrates de carbone, les sucres réducteurs, les dextrines et tanins qui disparaissent le plus rapidement, puis viennent les substances amylacées et la cellulose.

Les matières grasses sont d'abord oxydées et saponifiées, les microbes s'attaquent alors à la glycérine et aux acides gras libérés et les réduisent plus ou moins rapidement.

L'érémacausis étant une oxydation, ne se produit que dans les conditions suivantes :

1° Il faut que l'aération soit bien faite pour permettre un développement rapide des aérobies et empêcher la multiplication des anaérobies ;

2° Il faut de plus que la température soit assez élevée. On peut d'après les travaux de Moeller et Wolny, fixer l'optimum aux environs de 35° et le maximum vers 80° ;

3° Il faut encore que l'humidité soit suffisante. En effet l'expérience a établi que les matières organiques se décomposent d'autant plus vite qu'elles sont plus humides, sans toutefois que les pores et interstices de la masse en fermentation ne soient obstrués au point d'entraver le passage de l'air.

On sait également qu'une faible alcalinité favorise l'érémacausis et que l'oxydation du carbone est augmentée par l'addition de phosphates ou de nitrates en solutions très diluées.

Les chlorures, au contraire, ralentissent l'érémacausis et la nitrification.

Après avoir défini le phénomène de l'érémacausis, voyons maintenant ce qu'est la putréfaction.

Quand l'oxygène n'arrive plus à la matière, ou n'y arrive qu'au-dessous de certaines limites, le mode de désintégration est toute autre que dans le cas précédent. Il se forme beaucoup moins de produits gazeux qui sont principalement du méthane, de l'acide carbonique, de l'hydrogène sulfuré, de l'hydrogène phosphoré, du protoxyde d'azote, de l'azote. La matière organique constitue une masse de teinte plus ou moins foncée contenant encore des composés azotés tels que :

de l'indol, du scatol, des acides amidés, elle contient également de l'ammoniaque, parfois des nitrites et des acides gras volatils, à savoir les acides acétique, formique, butyrique, valérianique, propionique. La plus grande partie des principes minéraux s'y trouve sous une forme non assimilable. Ce mode de désintégration de la matière organique est beaucoup plus lent que l'éremacausis et donne des produits bien moins intéressants au point de vue agricole.

C'est pourquoi, nous ne nous occuperons que de l'éremacausis, dont nous nous efforcerons d'exalter les effets en agissant sur les conditions qui le favorisent.

Nous allons étudier tout d'abord les phénomènes qui se passent dans la désintégration des débris végétaux dans le sol abandonnés aux seules forces de la Nature. Ces débris végétaux sont formés de matières ternaires ou hydrates de carbone et de matières quaternaires ou albuminoïdes. Etudions tout d'abord la destruction des hydrates de carbone qui comprennent : les sucres, les graisses, la cellulose et la vasculose.

Les sucres réducteurs, les tanins et les gommes de la paille vont devenir la proie des ferments aérobies. Ces sucres réducteurs, très facilement oxydables, sont entièrement brûlés à l'état de gaz carbonique et d'eau comme l'a démontré Hébert de la façon suivante :

Ce savant a ensemencé, avec un peu de fumier, de la paille finement hachée, additionnée d'une solution nutritive minérale ; il a obtenu une disparition de la

paille dans la proportion de 50 % avec production de méthane et de gaz carbonique.

Voyons maintenant comment se comportent les matières grasses.

Les graisses ne semblent subir aucune action microbienne, car elles sont insolubles dans l'eau et ne peuvent nourrir le protoplasma des cellules vivantes. Par contre, elles subissent l'action de l'oxygène atmosphérique et se saponifient en libérant de la glycérine et des acides gras. La glycérine devient ensuite la proie des microbes. Quant aux acides gras, ceux qui sont volatils s'échappent en partie dans l'air, les autres non volatils vont subir une dégradation plus poussée du fait des micro-organismes, qui sont aptes à les utiliser comme aliments. L'acide oléique fournit dans cette oxydation, une substance très acide, l'acide oxyoléique, qui attire très énergiquement l'ammoniaque du milieu, pour se combiner avec elle et donner des sels solubles dans l'eau et la matière noire du fumier. L'oxyoléate d'ammoniaque s'oxyde à son tour et se transforme en une série de composés plus simples, désagregés ultérieurement par les microbes.

Il faut noter aussi que l'arrosage régulier facilite énormément ces diverses décompositions. Nous allons étudier maintenant la désintégration des matières cellulosiques.

Si l'on ensemente avec quelques gouttes de purin un liquide contenant de la filasse de lin ou de coton, matière cellulosique, du carbonate de potasse, du carbonate d'ammoniaque et un peu de phosphate, on

obtient une décomposition rapide de la filasse, avec formation de gaz carbonique et de méthane.

Hoppe-Seyler admet que la décomposition de la cellulose s'effectue en deux phases; dans la première grâce à une diastase, la cellulase, on a une hydrolisation selon la réaction :



dans la seconde phase, on trouve comme résultat final :



Pour d'autres auteurs la décomposition aurait lieu sans addition d'eau selon l'équation :



Ce serait ce phénomène qui préside à la formation de la tourbe et de la houille.

Quoi qu'il en soit, il est certain que la cellulose peut être détruite de différentes manières par voie anaérobie ou aérobie.

Etudions tout d'abord la destruction cellulosique par voie aérobie.

Il faut que le milieu soit neutre ou légèrement alcalin, ce qui ne nous étonne pas puisque l'éremacausis est favorisé par une légère alcalinité du milieu.

Les agents microbiens qui contribuent à la destruction de la cellulose sont très nombreux. En premier lieu il faut citer les microbes nitrificateurs.

Très fréquemment on trouve un petit bacille formant des taches jaunes brunâtres, c'est le *Bacillus fer-*

rugineus vivant en symbiose avec un micrococcus jaunâtre.

A. Hopffe a isolé des voies digestives des ruminants l'*Aspergillus cellulosa* attaquant la cellulose entre 35° et 37°. Le *Bacillus amylobacter* y contribue.

Sack a isolé des cultures minérales avec du papier filtre des microbes qui tous désagrègent la cellulose, ce sont : *Cellulomonas auranticus*, *flavus*, *albus*. La découverte la plus importante est celle de Viljoen, Fred et Peterson qui ont isolé une bactérie en spores. C'est une bactérie mobile, ne prenant pas la coloration de Gram mais colorable par la fuchsine, le bleu de méthylène et qui décompose la cellulose. Cette bactérie fermente bien de 43° à 65°, résiste à 72° sans y fermenter, c'est donc une bactérie thermophile. La fermentation commence après 12 à 18 heures, s'arrête par l'acidité et est accélérée par le carbonate de chaux. Elle détruit 70 à 95 % de cellulose.

Langwell et L. Hind ont isolé du fumier de cheval un microbe thermophile sporulé, très abondant, transformant rapidement la cellulose et les autres hydrates de carbone en quatre jours.

C'est un microbe sporulé de 0 μ 4 de large sur 4 μ de long en tambour. Son optimum est entre 60° et 65°.

Langwell a même constaté que la cellulose peut être transformée à 72° en deux jours.

Ce microbe a besoin de phosphate de potasse et de sels ammoniacaux.

Etudions maintenant la fermentation de la cellulose sous l'influence des microbes anaérobies. C'est Omé-

liansky qui a étudié surtout ces phénomènes. Dans un ballon à long col contenant par litre la solution nutritive suivante :

Phosphate de potasse.....	1 G
Sulfate de magnésie	0 g. 5
Sulfate d'ammoniaque	1 g.
Chlorure de sodium	traces

il ajoute un peu de craie et de papier suédois représentant la matière cellulosique. Le ballon est presque complètement rempli, on ensemente avec quelques gouttes de purin et on dispose un tube permettant de recueillir sous le mercure les gaz qui vont se former. La température est maintenue aux environs de 35°. Le processus est très long et demande parfois plusieurs semaines. On voit tout d'abord le papier se couvrir d'un voile, puis se trouer. Il dégage alors des gaz : du méthane dans la proportion de 71 %, de l'hydrogène 4,75 %, du gaz carbonique et de l'hydrogène sulfuré, soit 6,32 %, de l'oxygène en très faible quantité 0,30 %, et enfin de l'azote en quantité notable 11,17 %. Oméliansky a constaté aussi qu'en portant la semence chauffée au préalable à 75° pendant quinze à vingt minutes, on obtenait plus d'hydrogène et moins de méthane. En répétant ce chauffage de la même manière pendant plusieurs générations successives, il est arrivé à trouver de l'hydrogène sans traces de méthane. Il a donc conclu qu'il avait affaire à deux ferments différents ; l'un beaucoup plus résistant à la chaleur, donnant de l'hydrogène ; l'autre beaucoup moins résistant à la chaleur et donnant du méthane, mais d'incuba-

tion moins longue et prenant facilement le dessus lorsqu'il ne portait pas la semence à 75°. La chaleur était donc un moyen tout indiqué pour arriver à leur séparation. Il fit donc deux ballons, l'un avec une semence chauffée, l'autre sans faire agir l'action de la température.

Il constata alors que l'agent microbien résistant à 75° et producteur d'hydrogène se présentait sous la forme d'un bâtonnet fin, droit, ayant 4 à 8 μ de long sur 0 μ 5 de large et présentant une spore terminale. Cette spore arrondie, dans les vieilles cultures, avait 1 μ 5 de diamètre, lorsqu'elle devenait libre elle tombait au fond et résistait à une température de 90° pendant vingt-cinq minutes. Elle se colorait par le violet ou la fuchsiné, mais pas en bleu par l'iode. Ce microbe poussait difficilement sur les milieux solides, cependant on pouvait le cultiver sur carottes ou pommes de terre en donnant de petites colonies jaunâtres, hyalines. Au contraire, dans le second ballon non chauffé, Oméliansky isola un bâtonnet assez fin, souvent coudé, avec des formes en baguette de tambour. Il mesurait 5 μ de long sur 0 μ 3 de large ; la spore terminale et arrondie avait un diamètre de 1 μ .

L'incubation était relativement courte et la fermentation partait vite. Il se colorait de la même façon que le microbe étudié précédemment et se cultivait de la même manière. Il donnait par fermentation du gaz carbonique et du méthane ; au début le dégagement d'acide carbonique était moins important que celui du méthane mais à la fin de l'opération il devenait pré-

pondérant, atteignant une proportion de 70%. Il donnait comme résultat de la fermentation des acides acétique et butyrique. Niklewski a montré que la décomposition est stimulée par la présence de nitrogène assimilable.

Si nous voulons tirer une conclusion pratique de cette étude rapide de la désintégration de la cellulose par les voies anaérobies et aérobies, nous pouvons dire : la fermentation en anaérobie est plus longue, elle est de plus, beaucoup moins complète. Enfin elle donne des résidus ne présentant pas d'intérêt agricole. De plus nous avons montré l'importance du degré d'humidité et d'adjonction de composés ammoniacaux activant la réaction, faits sur lesquels nous reviendrons ultérieurement.

Nous allons étudier maintenant la désintégration de la vasculose.

Cette vasculose est mise en liberté par suite de la destruction de la cellulose ; elle se déshydrate et devient partiellement soluble dans les liquides alcalins du fumier. Comme ceux-ci dissolvent en même temps une partie des matières azotées, il se forme un mélange complexe qui constitue cette matière noire épaisse, coulant le long des parois du tas de fumier, matière dont le rôle fertilisant est depuis très longtemps connu et apprécié.

Les sucres réducteurs, les matières grasses, la cellulose et la vasculose ne représentent pas tous les hydrates de carbone ; en effet les résidus végétaux contiennent également des amidons, qui vont être ou hydrolysés et se comporter comme des sucres, ou s'ils y échappent,

seront attaqués par les ferments de la cellulose.

Les matières azotées peuvent, elles aussi, être désagrégées selon les deux processus généraux anaérobies ou aérobies.

Envisageons tout d'abord la désintégration par voie anaérobie.

Chaque fois qu'une substance organique s'altère en répandant des gaz odorants, tels que hydrogène sulfuré, phosphure d'hydrogène, méthane, ammoniac avec production d'indol, de scatol, de leucine, tyrosine, tryptophane, phénols, leucomaines, ptomaines, on dit qu'il y a putréfaction.

Pour qu'il y ait putréfaction, il faut une température convenable et également un certain degré d'humidité. L'absence de l'une ou l'autre de ces deux conditions ou des deux à la fois, nous permet d'expliquer la conservation de la viande desséchée, ainsi que celle des mammouths en Sibérie.

Bien que le nombre des bactéries qui interviennent dans les phénomènes de putréfaction soit très grand, on connaît néanmoins certaines espèces qui sont tellement fréquentes qu'on les considère comme des bactéries spécifiques.

On trouve généralement les genres *Proteus vulgaris*, *mirabilis* et *Zenkeri*, le *micrococcus prodigiosus*, le *Bacillus erythrosporus* des œufs en putréfaction, le *Bacillus fluorescens liquefaciens*, le *Bacillus pyocyaneus*, le vibron septique de Pasteur, le *Proteobacter* de Beijerinck, et enfin les divers ferments de l'urée.

Ces microbes dont les uns sont aérobies, les autres

anaérobies agissent le plus souvent simultanément. Si les aérobies sont prépondérants on a comme terme final de l'eau, de l'acide carbonique et de l'ammoniac. Si au contraire ce sont les anaérobies, on a des acides gras, de l'hydrogène sulfuré, du méthane et de l'hydrogène. Ces deux réactions d'ailleurs se complètent ; les aérobies commencent les décompositions, enlèvent l'oxygène et préparent la voie aux anaérobies, dont l'action peut alors être très rapide. Il faut savoir également que la spécificité du microbe dépend de la composition de la matière à détruire. Il en résulte très souvent une perte en azote gazeux. Déhérain, étudiant la fermentation anaérobie du fumier avait également trouvé une perte d'azote atteignant 19,2 % de l'azote initial. Deherain et Dupont ont introduit 460 gr. de fumier dans un grand ballon, muni des dispositifs nécessaires pour recueillir le gaz carbonique et l'ammoniac. En faisant passer 6 litres d'air par jour, c'est-à-dire en fermentation aérobie, ils ont constaté une transformation de l'azote organique en azote ammoniacal et une perte d'azote de 13,4 % de l'azote primitif. Dans les fermentations où l'on trouve de l'hydrogène à côté du méthane, il y a dégagement d'azote libre. La conclusion pratique qu'il convient d'en tirer, c'est que, pour éviter les pertes d'azote libre, il faut mouiller la masse par d'abondants arrosages de purin ; il se forme beaucoup d'acide carbonique qui retiendra l'ammoniaque fournie.

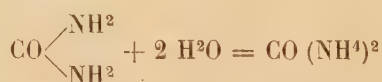
Cette étude rapide de la destruction des composés albuminoïdes nous montre encore, qu'il faut donc

favoriser le développement des bactéries aérobies. En effet ils donnent des composés fertilisants riches en azote assimilable et de plus cette fermentation ne libérant que de la vapeur d'eau, du gaz carbonique et de l'ammoniac ne s'accompagnera d'aucune odeur désagréable.

Ces procédés de désintégration ne sont pas les seuls utilisés par la Nature. Un processus courant de désintégration de la matière organique est la fermentation ammoniacale.

L'urine normale de l'homme et des carnivores a une réaction acide ; abandonnée à elle-même elle se trouble peu à peu ; sa réaction devient alcaline, en même temps il se forme un dépôt constitué par des phosphates et des matières organiques diverses.

Pasteur et Muller ont signalé, vers 1860, dans ce dépôt, un organisme spécial auquel ils attribuèrent la transformation de l'urée, grâce à une hydrolisation selon la formule.



La torulacée de Pasteur a été plus spécialement étudiée par M. Van Tieghem. Ce savant en exposant à l'air, c'est-à-dire en vase découvert, de l'urine ou de l'eau de levure à 13 % d'urée, a pu isoler en culture pure le *Micrococcus ureae*, qui affecte souvent la forme d'un streptocoque, c'est-à-dire se présente en grands chapelets. Ces ferments sont excessivement nombreux, on en trouve dans l'air, les boues de ville, le sol, les

eaux d'égoût, le fumier, le purin, etc..., ce sont eux qui transforment le purin en l'amenant à l'état assimilable, c'est-à-dire ammoniacal. Au fur et à mesure que ce dernier nitrifie, son action devient acidifiante, agissant par leur radical ; nous avons ainsi l'urée, engrais ammoniacal, puis nitrifiant, favorable aux végétaux supérieurs. Cette fermentation ammoniacale est une fermentation banale ; beaucoup de microbes jouissent de ces propriétés ; ils ont été étudiés par MM. Van Tieghem, Leube, Migula, etc... on trouve parmi eux des bacilles et des cocci, des sarcines, des urobacillus, des urococcus, et même des moisissures ; ce sont les bacilles sporulents qui se montrent les ferments les plus énergiques. Dans les eaux d'égoût sur 1.000 germes, on peut avoir de 50 à 60 ferments de l'urée ; dans le purin ou le fumier de 100 à 150.

La température optima peut être comprise entre 33 et 40°, elle dépend de l'espèce considérée, comme nous allons le voir, mais il y en a qui commencent déjà leur action vers 10 à 12° ; la forme coccacée peut être détruite par chauffage à 65°-70°, les urobacilles, au contraire, en raison de leurs spores, supportent des températures de 90 à 95°, même pendant plusieurs heures.

La plupart de ces ferments sont aérobies sans que cependant ce caractère soit spécifique. Le plus résistant est l'urobacillus Duclauxii dont les spores supportent une température de 95° pendant 2 heures.

Les spores elliptiques de l'urobacillus Freudenreichi résistent également à une température prolongée pendant deux heures à 95°.

Tous ces ferments sécrètent l'uréase que l'on trouve aussi dans la fève de soja, diastase qui hydrolyse l'urée.

Les Japonais réduisent le soja en poudre, la poudre de cette légumineuse ajoutée à l'urine produit de l'ammoniaque.

Après avoir passé en revue les différents processus présidant à la désintégration de la matière organique végétale, nous allons étudier la destruction des composés organiques animaux.

Nous prendrons pour type de description les phénomènes qui régissent la décomposition des corps humains inhumés dans le sol.

Un premier point, bien établi maintenant, est que la constitution géologique du sol influe sur la durée des cadavres qui lui sont confiés. Les microbes anaérobies intestinaux commencent l'œuvre de destruction, ils produisent des liquides et des gaz qui vont faire éclater l'abdomen ; à ce moment l'oxydation par les bactéries de la terre achève l'œuvre de décomposition. Les différents processus de putréfaction sont plus ou moins rapides suivant que le sol est sec, poreux et perméable ou humide, compact et imperméable à l'air.

La conservation des corps baignant dans l'eau ou soumis à une humidité constante est, pour ainsi dire, indéfinie dans les terrains argileux, glaiseux, par exemple, compacts, où l'air ne pénètre pas et ne circule pas, où l'eau imbibe et reste comme dans une éponge, tandis qu'au bout de trois ans, en sol sec et bien aéré comme au cimetière d'Ivry, il ne reste plus que le squelette.

A cette destruction microbienne, s'ajoute l'action d'insectes appelés « travailleurs de la mort » dont nous n'entreprendrons pas ici l'étude.

Après la décomposition plus ou moins rapide des parties molles, arrive une période de destruction ne laissant que le squelette desséché. Celui-ci peut résister un temps très long, parfois illimité.

Les produits de la putréfaction disparaissent par combustion dans la terre, si elle est perméable et convenant à ce processus. Dans ces conditions la terre ne se sature pas de matières organiques.

Le cycle des phénomènes se déroule ainsi : dans les premières heures après la mort, rigidité cadavérique ; puis le deuxième et troisième jour, odeur et apparition de taches verdâtres ; ensuite gonflement sous l'action des gaz produits par les anaérobies provenant des voies digestives. L'inhumation étant accomplie à ce moment, les aérobies, s'ils peuvent agir, ajoutent leur action et continuent l'œuvre de destruction de la matière organisée. Ce fait est d'autant mieux marqué que l'oxygène est capable d'intervenir plus activement. Alors la putréfaction se manifeste dans la profondeur du sol. Le corps éclate sous la pression des gaz, se liquéfie, se dissout en bouillie ; le corps et les membres perdent leurs formes et deviennent la proie des bactéries du sol auxquelles appartient le processus réducteur. C'est justement cette phase des opérations destructives qui présente des variations et des écarts suivant la nature du terrain, et dont la durée s'appelle rotation ou temps de circulation. Le minimum de

renouvellement des fosses, d'après la réglementation française, est de cinq ans, mais ne répond qu'à des cimetières bien installés géologiquement et n'est pas possible dans de nombreux cas.

La transformation en gras de cadavre n'a lieu que dans certains terrains où l'ensemble des phénomènes ci-dessus ne se déroule pas comme nous venons de voir, là où les corps ne subissent pas l'effet de ferments ni d'insectes. Elle est produite par changement de la partie musculaire se solidifiant au contraire et prenant l'apparence et la couleur de la cire ; les muscles ainsi transformés gardent leur aspect, et le corps conserve sa forme. Il est à l'abri désormais de la destruction par la putréfaction. Tous les corps qui résistent ne sont pas protégés par la modification adipo-cireuse. Il en est qu'on trouve intacts sans ce caractère si particulier, mais on doit dire qu'il suffit parfois dans ce cas de donner au terrain de l'oxygène, pour que la décomposition reprenne son cours par suite de l'action des germes aérobies et des fermentations empêchées jusque-là.

De ces données générales découlent les indications pratiques. On conçoit que plus l'inhumation est profonde, moins la destruction se fait rapidement. C'est dans les deux premiers mètres que les germes du sol sont les plus nombreux, le premier surtout est le plus riche. Il faut donc inhumer dans une couche aussi superficielle que possible parce qu'elle est la plus bactérifère. Cette couche vivante est celle où la nitrification sera la plus active. Le cadavre devrait donc être recouvert de terre non tassée.

La profondeur légale de 1 m. 50 à 2 mètres a été fixée à une époque où on se préoccupait uniquement des gaz malodorants, considérés comme dangereux et capables d'engendrer des épidémies variées. La coutume des inhumations en lieux clos comme les églises dans des conditions qui n'empêchaient pas les émanations délétères, avaient des inconvénients tels que le législateur de l'an XII est justifié de n'avoir pas eu d'autre préoccupation.

Il peut en être de même dans certains caveaux où les inhumations ont lieu dans des conditions défectueuses puisqu'il manque plusieurs des éléments de destruction qu'on trouve dans la terre nue.

Cette étude nous montre le rôle primordial des aérobies lors de la décomposition des corps ; voyons maintenant les conditions pouvant favoriser leur développement.

Nous citerons tout d'abord les travaux de notre maître, M. le professeur Bordas, faits en collaboration avec M. Bruère pendant la guerre. Ces travaux sur la désintégration de la matière organique par protéolyse microbienne furent le sujet du prix Bellion de l'Académie des Sciences en 1916.

MM. Brouardel, Duménil et Ogier pensaient qu'il y avait lieu « de soumettre les cadavres, avant l'inhumation, à une espèce d'ensemencement d'un ou de plusieurs microbes ptomatophages, dont les caractères biologiques seraient tels que cette quantité de matière organique pourrait être plus vite ramenée en ses éléments principaux, CO_2 , H_2O et nitrates ». C'est ce qui a guidé leurs pas.

A quels microbes cette action est-elle due ?

Partons de l'exemple du tas de fumier. Pour éliminer les microbes intestinaux, on se servit de fœtus de truie extraits de la poche fœtale seulement au moment de l'ensemencement.

Le poids variait entre 300 à 350 grammes.

Un premier fœtus témoin était conservé sous l'eau dans un bocal.

Un second fœtus baignait dans une liqueur provenant de fermentations cellulosiques putrides.

Un troisième fœtus baignait dans cette liqueur prise sans addition d'eau.

Un quatrième fœtus se trouvait à sec dans un bocal après avoir reçu 2 cmc. en injection péritonéale.

Un cinquième se trouvait dans les conditions du troisième. Tous les flacons étaient bouchés au liège.

Les quatre premiers furent maintenus entre 17 et 18° pendant 15 jours, puis à partir de ce moment entre 13 et 14°. Le cinquième, maintenu à 30-32°.

Le n° 1 était intact au bout de 166 jours.

Le n° 2 était solubilisé à l'état de boue en 20 jours.

Le n° 3 était solubilisé à l'état de boue en 15 jours.

Le n° 4 était solubilisé à l'état de boue en 15 jours.

Le n° 5 était solubilisé à l'état de boue en 108 heures.

Ce qui démontre :

A) La grande activité des microbes des fermentations putrides cellulosiques.

B) L'importance de :

1° La concentration du bouillon puisque 3 plus vite que 2.

2° La température comparée entre le troisième et le cinquième.

Puis ils ont cherché à connaître le plus actif. Ils les ont divisé en trois groupes :

- Ferments de l'urée,
- Ferments du tube intestinal,
- Ferments cellulosiques.

Dans une seconde expérience on se servit des mêmes foetus.

1° Une liqueur FV était un bouillon alcalinisé par du carbonate de NH_3 , additionné d'urée etensemencé avec une petite quantité de la liqueur employée pour notre première expérience.

2° Une semence (C) constituée par un bouillon neutreensemencé avec un peu d'eau stérilisée dans laquelle on avait délayé du crottin de cheval frais puis filtré au papier.

3° Semence (P) représentant l'eau de macération d'une poignée de paille de blé.

Avant l'expérience, les deux premières furent maintenues à 42° pendant 3 jours, la quatrième abandonnée à l'air libre. Les trois bocaux (FV, C, P) bouchés au liège, furent placés dans une étuve à 42°, à côté d'un quatrième, renfermant un mélange à parties égales des trois liqueurs FV, C et P. Les foetus furent solubilisés respectivement :

Le n° 1 (FV) en 45 heures.

Le n° 2 (C) en 166 heures.

Le n° 3 (P) en 99 heures.

Le n° 4 (FV + C + P) en 69 heures,

donc supériorité de FV.

Une conserve de 6 litres fut placée au centre d'une cuve rectangulaire en verre de 45 litres sur un lit de paille et entourée d'un épais matelas de paille tassée. Puis dans la conserve, furent disposés successivement de bas en haut :

Une couche garnie de tourbe délitée humide et de paille coupée.

Deux fœtus extraits de la poche fœtale au moment de l'expérience ;

Une couche tourbe humide et paille ;

Un fœtus ;

Une couche tourbe humide et paille,
et le tout fut enfin recouvert d'une couche de tourbe humide et d'une glace.

Fœtus et couches successives avaient été arrosés avec deux litres de liqueur FV.

L'expérience a duré 19 jours, au cours desquels la température s'est élevée de 13°5 à 16.

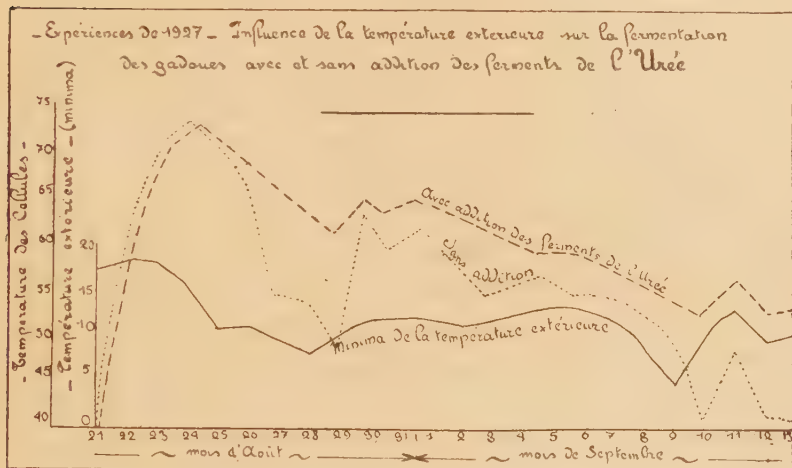
Le matelas de paille avait été disposé pour détruire les effets de la température extérieure.

On prenait chaque matin la température avec un thermomètre dont le réservoir atteignait le centre du lit tourbe paille disposé entre les deux étages du fœtus. Au bout de 24 heures, la température atteignait 16° contre 13°5 au laboratoire. Elle s'éleva progressivement jusqu'à atteindre 25° le 10^e jour, redescendit le 11^e jour à 20°, s'y maintint 3 jours. Le 15^e, elle tombait à 17° et s'y maintenait les jours suivants.

A partir du 10^e jour, la conserve dégageait une odeur ammoniacale faible, mais nette. Le 19^e jour à la

vidange son contenu présentait l'aspect d'un compost maraîcher, dans lequel les auteurs n'ont plus retrouvé d'autres vestiges des trois fœtus que quelques fragments d'os craniens.

Le problème était donc résolu, car 456 heures



avaient suffi à liquéfier 620 gr. de matière organique sous la seule action des germes extérieurs aux animaux en expérience.

D'autres expériences furent entreprises à Alfort. Un cobaye sacrifié depuis 72 heures, immergé dans 500 cmc. d'un bouillon de culture de ferments de l'urée, a été, dès les premières heures, la proie d'une réaction si tumultueuse, un tel dégagement de gaz s'est produit que le vase a débordé. Au bout de 48 heures, l'animal semblait détruit, vidé intérieurement et, dans le délai de 120 heures, il était entièrement dissous, à l'exception du poil.

Un cheval de 450 kgr., mort depuis 3 jours, enseveli, non plus ainsi que lors de nos premières expériences dans du fumier, mais dans de la paille neuve, simplement humide, puis arrosé pendant 6 jours toutes les deux heures, avec 30 litres d'un bouillon de culture de ferments de l'urée, a été réduit en 504 heures à l'état de squelette et complètement décharné à part quelques fragments d'aponévroses. Toutes les articulations étaient libérées, les sabots étaient détachés, la peau elle-même avait disparu, la queue seule était à peu près intacte, séparée du corps.

La température prise dans la cuisse du cheval au moyen d'une incision profonde atteignait 56°, ce qui prouve que toute la masse participait à l'élévation de température.

L'on sait d'autre part la facilité avec laquelle se décomposent les corps des sujets urémiques, peut-être pourrait-on accuser le rôle des ferments de l'urée dans cette décomposition. Il s'en suit peut-être une élévation thermique du cadavre et le signe certain de la mort ne serait plus alors le refroidissement du cadavre mais son élévation thermique.

Ces expériences montrent le rôle indéniable des ferments de l'urée lors de la destruction de la matière organique, la vitalité de ces ferments étant fonction d'une aération suffisante grâce à la couche de paille protectrice.

Cette question de la décomposition rapide des corps dans le sol a préoccupé de tout temps les hygiénistes. Dès 1890, la ville de Saint-Nazaire faisait exécuter des

recherches, car son cimetière reposant sur un sol imperméable entravait la destruction des corps et augmentait considérablement la durée des concessions. En effet, le sol du cimetière de Saint-Nazaire est constitué par de l'argile compacte provenant de la décomposition des couches supérieures des micaschistes. Ce sol retient les eaux à une profondeur de 60 centimètres à peine dans la saison d'hiver.

Chaque fois qu'il était procédé à une exhumation, le cercueil était trouvé complètement plein d'eau, et certains cadavres, après un séjour de cinq années dans une fosse, étaient retrouvés intacts.

Pour parer à ces difficultés, la municipalité s'était adressée à MM. Couprie, Lemut et Guérin, qui ont imaginé un projet de drainage réalisé dans une parcelle du cimetière de Saint-Nazaire.

Six rangées de trois fosses chacune avaient été creusées jusqu'à la profondeur de 87 centimètres : ces fosses avaient une longueur de deux mètres sur une largeur de 0 m. 80. Entre chaque fosse et sur les quatre côtés, il avait été laissé une bande de terre naturelle de 0 m. 40 d'épaisseur. Ce compartiment de 18 fosses était entouré d'un mur d'enceinte de 0 m. 40 d'épaisseur maçonné à froid et descendu à 0 m. 30 au-dessous du fond des fosses de manière à constituer une enceinte drainante empêchant l'invasion des eaux extérieures. Au fond de chaque fosse avaient été disposées quatre murettes en pierres sèches, de 0 m. 16 de hauteur, laissant entre elles un vide en forme de croix. Ce vide était prolongé suivant chaque branche de la croix par

un tuyau en poterie traversant la bande de 0 m. 40 d'épaisseur du terrain naturel et établissant ainsi une communication souterraine entre toutes les fosses contiguës.

En avant de ce compartiment de 18 fosses, dans l'allée du cimetière on avait établi un petit égout placé à une distance de 0 m. 55 des fosses, recevant toutes les eaux recueillies par le mur d'enceinte et les poteries des fosses, puis les évacuant hors du cimetière.

Le vide en croix entre les murettes était garni dans le fond d'une ardoise ordinaire et recouvert à 0 m. 10 de hauteur par une double ardoise, puis par une couche de 0 m. 10 d'escarbilles recouvrant tout le fond apparent de la fosse. Le cercueil reposait sur cette couche.

Tel est le procédé qui permettait l'aération permanente du sol.

Les résultats furent très satisfaisants, on exhuma les cadavres un an après leur inhumation, les organes et les muscles étaient détruits, il ne subsistait plus que le squelette dénudé.

Il résulte donc de ces expériences que l'application du système Coupry, en asséchant le sous-sol et en y faisant pénétrer de l'air en quantité considérable, avait activé la destruction des cadavres inhumés.

Telles sont les conclusions favorables de MM. Brouardel, Dumesnil et Ogier. On peut donc conclure que l'oxygène circulant ayant favorisé la pullulation des aérobies, la destruction des corps a été très rapide, ce qui démontre la nécessité de favoriser leur développement si l'on veut obtenir une désintégration ra-

pide et complète de la matière organique animale.

A ce propos ces expériences nous montrent aussi l'erreur des inhumations à enfeux proposés par le Dr Marchoux.

Ce système envisage la construction de cases étanches en ciment armé s'élevant au-dessus du sol. Chaque caveau contiendrait 78 places.

Il n'est pas douteux que dans ces conditions les cadavres, à l'abri de l'air, sont préservés d'une destruction complète, et en général la décomposition s'arrête au stade de liquéfaction.

D'autre part, si nous nous plaçons au point de vue architectural, il n'est pas douteux que la sécheresse, l'humidité, la chaleur, le froid vont bientôt fissurer l'édifice et il y aura alors issue de liquide à l'extérieur, d'où grand danger pour les voisins. En effet les mouches seront bientôt attirées et transporteront les germes pathogènes. D'ailleurs le Conseil Supérieur d'Hygiène publique dans sa séance du 17 juin 1929 a fait justice de ce procédé.

On peut étendre également ces observations aux caveaux ordinaires où l'air ne circulant pas, la destruction complète des corps ne peut s'opérer.

Toutes ces considérations nous démontrent la nécessité de la vie aérobie, indispensable à la destruction de la matière organique, végétale ou animale. De plus, cette désintégration par voie aérobie permet de retirer des sous-produits inodores et fertilisants.

Enfin nous avons mis aussi en évidence le rôle favorisant de la chaleur et d'un certain degré d'humidité.

PROCÉDÉ DE TRAITEMENT

Toutes ces conditions favorables de désintégration de la matière organique ont trouvé leur application dans un procédé de destruction des résidus de la vie urbaine.

Ce procédé utilisé dans certaines villes du Sud-Est de la France, notamment Cannes, Aix-en-Provence et Valence est le procédé Zymos permettant de traiter tous les résidus urbains, ordures ménagères, boues d'égout et déchets d'abattoirs.

Ce procédé utilise l'éremacausis, un degré d'humidité suffisant et active la réaction grâce aux ferments de l'urée.

Ce procédé consiste dans la fermentation des ordures ménagères introduites dans des cellules spéciales sans aucun triage préalable et telles qu'elles sont apportées à l'usine par les voitures de collecte.

La caractéristique du procédé est la fermentation en atmosphère oxydant, il en résulte que les gaz qui se dégagent sont presque exclusivement formés de gaz carbonique avec très peu d'ammoniaque ; ces gaz d'ailleurs sont absorbés dans des appareils spéciaux,

Au bout de 25 jours environ, on retire de la cellule une masse hétérogène, noirâtre, ayant l'aspect extérieur du fumier complètement décomposé et l'odeur de l'humus.

Cette masse hétérogène contient encore les produits non fermentescibles.

Ce produit est encore abandonné à une fermentation tacite pendant un mois environ. Durant cette période on observe un développement de bactéries nitrificatrices qui enrichissent la masse en azote. Ensuite le produit brut est soumis à une préparation entièrement mécanique de tamisage, criblage et broyage qui aboutit à un produit commercial très recherché par les agriculteurs. La température se maintient dans les cellules aux environs de 80° pendant une période de 25 jours. Cette température est soustraite à l'action des variations atmosphériques grâce à la présence d'une double enveloppe de la cellule. Ensuite elle reste constamment aux environs de 65° pendant toute la durée de la fermentation tacite.

La totalité des bactéries pathogènes est détruite par ce double séjour de longue durée avec brassage intermédiaire au moment du déchargement des cellules, de sorte que pratiquement aucune partie de la masse n'a pu échapper à la température élevée.

Les graines parasites contenues dans les ordures ménagères sont également détruites par la température, de sorte que le produit final est aseptique et stérile ; c'est-à-dire qu'il ne contient ni germes pathogènes, ni graines parasites.

Nous allons étudier maintenant, dans l'ordre où elles se présentent les opérations successives effectuées sur les ordures ménagères.

Tout d'abord les gadoues amenées dans les bennes fer-

mées du service de collecte, sont amenées dans un isoloir.

Puis les bennes sont déchargées dans une fosse ayant une capacité deux fois plus grande que le volume journalier de gadoues vertes apportées. Cette opération se fait dans un local entièrement fermé et sans aucun dégagement de poussières à l'extérieur.

Les gadoues sont ensuite reprises dans cette fosse au moyen d'une benne preneuse à grand rendement, montée sur pont roulant, donc sans aucune intervention de main d'œuvre.

De là les gadoues passent dans un trommel dépoussiéreur pour les débarrasser des produits les plus légers puis elles passent dans un transporteur à tapis roulant où s'effectue le triage manuel par des manœuvres munis de gants. Ces aides retirent les débris tels que : verre, papier, vieilles chaussures, chiffons sur lesquelles la fermentation n'a pas d'action.

A la sortie du tapis roulant le résidu du triage est réincorporé aux poussières enlevées par le trommel ; en effet ces poussières sont intéressantes à conserver car elles contiennent de nombreux produits azotés.

Un élévateur les emmène ensuite aux cellules de fermentation.

Les gadoues ainsi enfournées dans les silo-cellules absolument clos y séjournent pendant une période de 25 jours environ.

Ces silo-cellules, grâce à une circulation d'air allant du fond aux angles pour s'échapper au dehors, sont favorables à la production du phénomène d'éréma-

causis. La teneur en eau de la masse en traitement doit être maintenue aux environs de 40 à 45 %.

Dans ces conditions, la température dès le 4 ou 5^e jour atteint environ 80°. Une dépression minime dans l'intérieur des cellules est réalisée à l'aide d'un aspirateur électrique faisant partie de l'appareil d'absorption des gaz, ce qui empêche tout renversement de tirage.

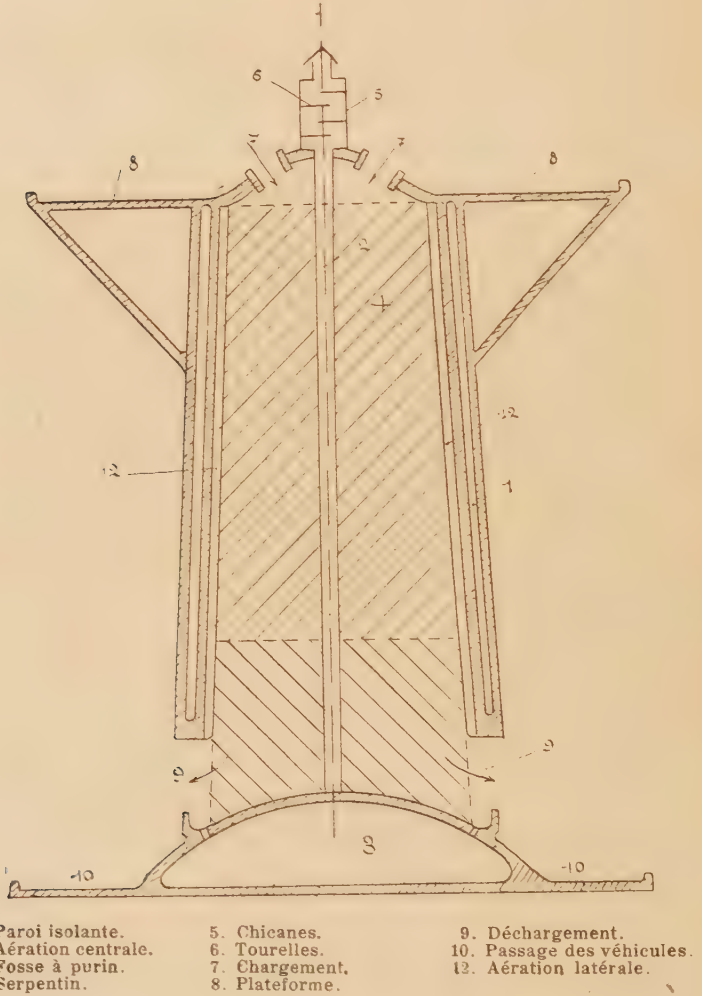
Ces gaz sont collectés dans des conduits étanches et amenés dans un appareil spécial d'absorption et de fixation contenant une solution titrée d'acide sulfurique. Après barbotage dans la solution titrée, ces gaz sont refoulés par l'aspirateur à travers un compartiment supérieur à ozoneur et s'échappent dans l'air libre complètement désodorisés et d'une innocuité absolue.

Les liquides provenant de la fermentation tombent dans le fond du silo-cellule formant cuvette, avec, à la partie centrale, un tuyau aboutissant à un collecteur de liquides rigoureusement étanche.

Tous les liquides provenant de la fermentation sont rassemblés dans une citerne rigoureusement étanche et close. Ils sont ensuite pompés par un groupe moto-pompe électrique et par un jeu approprié de canalisation absolument étanches et de robinets, on peut arroser suivant les besoins, les ordures en cours de fermentation.

Quand le cycle de fermentation est accompli, on procède au déchargement des silos cellules, opération qui se fait très simplement par une porte latérale étanche comprise dans la double paroi du couloir de service. On ouvre cette porte, le terreau tombe à l'étage

inférieur. Là il est stocké au contact de l'air pendant une période nouvelle d'un mois environ, c'est ce



qu'on appelle la fermentation tacite. Pendant cette période la température se maintient encore aux environs de 65°.

Au bout d'un mois environ, on reprend mécaniquement par des transporteurs le fumier terreau brut et on le fait passer dans une série d'appareils qui comporte un élévateur, un appareil cribleur, un séparateur magnétique pour les déchets métalliques ; le produit résiduel peut alors être cédé aux agriculteurs.

Ce procédé que nous avons vu fonctionner à l'usine d'Aix-en-Provence n'utilise que 8 manœuvres, ce qui évidemment représente un avantage économique certain.

Ce qui fait surtout l'intérêt de ce procédé au point de vue hygiénique est la production d'un humus stérile et aseptique et la présence de nombreux composés azotés. Ce procédé peut servir à de nombreuses applications. Nous avons vu son utilisation comme traitement des ordures ménagères ; mais il peut être utilisé encore en vue de l'épuration des eaux d'égout, des débris d'abattoir, des eaux de porcheries et enfin à la fabrication du fumier artificiel. Ce procédé a été récompensé par le Ministère de la Santé.

Etudions tout d'abord l'épuration des eaux d'égout.

Ces eaux d'égout contiennent des matières organiques de toute sorte : résidus de la vie domestique, produits du lavage des rues, excréments de la population.

Leur épuration consiste à les rendre susceptibles d'être rejetées dans la circulation générale sans inconvénient et à les rendre utilisables au point de vue agricole.

Les matières organiques qui y sont contenues sont,

soit des matières ternaires, soit des produits quaternaires.

Ces eaux renferment deux groupes principaux de substances ternaires : celluloses, sucres, amidons, acides organiques provenant des légumes, des fruits, des herbes, c'est-à-dire d'origine végétale ; enfin divers débris de bois ou de végétaux ligneux, principes que nous trouvons également dans certaines eaux résiduaires industrielles. La transformation de ces hydrates de carbone se fait souvent sous l'influence de microbes anaérobies, qui donnent naissance à de l'hydrogène, du gaz carbonique, du méthane et de l'azote, mais les ferments aérobies peuvent également y contribuer pour une large part. Quant au deuxième groupe, les substances quaternaires, nous y trouvons la série complète des matières azotées abondantes dans les déjections humaines et animales et dans les résidus ménagers, tels que l'albumine du sang, les débris de viande ou les déchets d'abattoirs.

Toutes ces matières, sous l'influence des diverses espèces microbiennes se liquéfient, se peptonisent, puis sont transformées en acides aminés ; arrivées à cet état, ce sont les ferments ammoniacaux et nitrificateurs qui opèrent leur transformation complète. On peut dire qu'une eau d'égout est épurée lorsque toutes les matières ternaires et quaternaires ont subi ces diverses désintégrations successives, c'est-à-dire lorsque ses divers constituants sont transformés en principes minéraux et gazeux.

On a utilisé jusqu'ici trois groupes de procédés pour

leur épuration : les fleuves, le sol et les procédés biologiques que nous étudierons surtout.

Voyons tout d'abord l'épuration par les fleuves. Lorsqu'on abandonne une eau d'égoût à l'air, les matières organiques sont graduellement oxydées avec formation d'un dépôt appelé humus et production finale de nitrates aux dépens des composés organiques et des sels ammoniacaux.

Cette autopurification est très lente et peut durer plus de deux mois, si l'eau n'est pas agitée de temps à autre ; elle est pour cette raison plus rapide dans les fleuves. On remplace ainsi les fermentations anaérobies odorantes par des fermentations aérobies inodores ; mais il fallait un rapport convenable entre la quantité d'eau et l'eau du fleuve.

Il en résultait une tendance à accélérer le phénomène par une aération artificielle, ainsi Dupré et Dibdin ont déjà cherché à aérer l'effluent des eaux, en ayant recours à la chaux et au sulfate de fer.

On a recourt aussi aux cascades et même à l'air comprimé.

Cependant on peut objecter à ce procédé que, pour peu que le débit du fleuve soit peu abondant il devient un véritable cloaque ; d'autre part la matière organique azotée se trouve perdue pour l'agriculture.

On eut alors l'idée d'avoir recours au sol. En 1865 Al. Muller avait constaté que le passage de l'eau d'égoût à travers le sol la débarrassait des matières nocives. Hiram Mills au Massachusets démontra la

nécessité d'assurer l'accès de l'air et d'effectuer une filtration intermittente.

Le sol doit présenter une constitution lui assurant un pouvoir filtrant sur une épaisseur de deux mètres et l'irrigation doit être intermittente ; enfin il faut veiller à l'écoulement souterrain des eaux.

Généralement l'épuration se fait par les mêmes terrains qui servent à l'agriculture, il y a cependant là deux phénomènes bien distincts : épuration proprement dite et utilisation agricole, qu'on aurait avantage à séparer, à la condition d'utiliser des terrains en cascade, ce serait alors ceux situés à un niveau inférieur qui serviraient pour la culture proprement dite.

L'épuration totale n'est pas toujours nécessaire, mais il faut au moins que l'eau ne soit plus putrescible.

Il résulte des expériences des D^{rs} Remlinger et Nouri, que des microbes pathogènes peuvent être entraînés le long des tiges, si l'épandage n'est pas fait d'une façon bien rationnelle.

Nous arrivons maintenant au procédé biologique, véritable progrès ; il est exclusivement basé sur l'utilisation raisonnée des diverses espèces microbiennes anaérobies et aérobies.

C'est le chimiste anglais Dibdin qui a pensé avec raison que les bactéries contenues dans l'eau d'égout devaient être des agents actifs de l'épuration.

Ce savant traita les eaux d'égout par la chaux et le sulfate de fer, les fit décantier puis repasser sur un lit de coke recouvert de cailloux sur une hauteur de un mètre.

Cameron interposa entre l'arrivée des eaux d'égout et les filtres, des fosses septiques agissant par fermentation anaérobie. Cette fermentation assure la putréfaction, la liquéfaction et la gazéification des matières solides et quelquefois, lorsque la fermentation marche bien, vingt-quatre heures sont suffisantes pour en solubiliser la majeure partie.

Ces résultats ont donné naissance aux procédés bactériens anaérobies avec double contact aérobie. On dégrossit tout d'abord les boues par décantation, puis on les fait arriver dans les fosses septiques où elles séjournent vingt-quatre heures ; de là elles sont reprises et passent sur des lits de tourbe contenant des ferments aérobies. Ces lits aérobies sont des bassins de 2 000 mètres carrés de surface avec une profondeur de 1 m. 10, ils contiennent du coke, des scories, du mâchefer. On établit des lits en cascade de façon à pouvoir les laisser reposer longtemps. Il est recommandé de mettre très lentement au début le lit oxydant en travail pour permettre son tassement et le développement des bactéries oxydantes. La durée de contact est inversement proportionnelle à la facilité d'aération.

Ce procédé de base a été plus ou moins perfectionné surtout en ce qui concerne la constitution des lits oxydants, mais le principe demeure le même.

En ce qui nous concerne, nous voyons donc que l'éremacausis est là encore un facteur primordial d'épuration. Ces boues d'égout après décantation pourront très bien servir à charger notre silo-cellule et l'eau

riche en ferments aérobies pourra être utilisée à l'arrosage de la cellule.

On pourra encore, si on le veut, faire alterner une couche d'ordures ménagères de 10 à 15 centimètres de haut avec une couche de boue d'égout, qui, grâce à leur degré hygroskopique élevé, ne pourra qu'accélérer la réaction.

D'autre part l'étude de la désintégration de la matière organique animale nous ayant montré le rôle principal des ferments aérobies, il sera tout indiqué également d'adjoindre dans la cellule des débris d'abattoirs ou de poissons.

Les eaux provenant des laiteries, des féculeries, des sucreries, des porcheries, etc..., en général toutes celles contenant de la matière organique en suspension pourront également être utilisées à l'arrosage de la cellule.

Enfin le silo-cellule pourra également servir à la fabrication du fumier artificiel. On prépare ce fumier à partir de la paille, il faut que cette paille soit amenée à 70 ou 75 % d'humidité. Le premier lit est fait avec du fumier naturel bien imbibé de purin. On ajoute ensuite une couche de paille humide de 1 mètre de haut. On saupoudre d'engrais azoté à la dose de 3 kilogrammes pour 1.000 kilogrammes de paille. On recouvre d'un peu de fumier. La température monte à 65-70° en 48 heures, il ne faut pas oublier d'arroser fréquemment et on obtient un fumier artificiel ayant les mêmes effets que le fumier naturel.

CONCLUSIONS

Après avoir passé en revue les diverses applications susceptibles d'être demandées à ce procédé de fermentation biologique, nous pouvons tirer les conclusions qui s'en dégagent.

Ce procédé est très satisfaisant au point de vue de l'hygiène urbaine. En effet le résidu est strictement aseptique par son séjour à 77° prolongé pendant 25 jours, ce qui écarte les dangers de pollution de la nappe d'eau souterraine, lors de son utilisation agricole. De plus, l'usine de traitement ne dégageant aucune mauvaise odeur pourra être installée près des agglomérations. De même le traitement rapide éloigne le danger des mouches et des rats... Enfin nous avons montré également qu'à l'usine d'épuration ne subsiste aucun danger pour les ouvriers, car les opérations se passent dans les chambres closes et les gadoues ne leur arrivent que dépoussiérées ou ayant subi la fermentation.

Nous croyons donc que c'est le procédé de l'avenir par les satisfactions hygiéniques, économiques et agricoles qu'il comporte. Il peut s'appliquer à toutes les villes quelque soit leur importance, ce qui sera, nous le pensons, une contribution certaine à l'amélio-

ration de l'hygiène urbaine des petites villes et des stations climatiques et hydrominérales si préoccupées à juste titre de cette importante question.

La bactérie a donc ramené la matière organique d'origine végétale ou animale à l'état simple utilisable par le végétal et lui a permis de rentrer dans le cycle général de la vie terrestre.

Vu : le Président de la thèse,
TANON.

Vu : le Doyen,
BALTHAZARD.

Vu et permis d'imprimer :
le Recteur de l'Académie de Paris,
S. CHARLÉTY.

BIBLIOGRAPHIE

- Walny*. — La décomposition de la matière organique. Berger Levrault, édit.
- Aletru Dr. (Jean)* — La destruction des ordures ménagères par incinération. Thèse de doctorat en médecine.
- Auger (Jacques)*. — Transport et fermentation des ordures ménagères (Technique sanitaire municipale, mars 1929).
- Kayser (E.)*. — Microbiologie appliquée à la fertilisation du sol. J. B. Baillière et fils, édit. Paris.
- Bordas (Dr.)*, et *Bruère (S.)*. — La désintégration de la matière organique par protéolyse microbienne (Acad. des sciences, prix Bellion 1916).
- Bordas (Jean)*. — Les différents traitements des ordures ménagères. Etude d'un procédé par voie microbienne permettant l'utilisation agricole des résidus urbains (Acad. des sciences, Prix Bellion 1930).
- Le traitement des résidus urbains par fermentation en vase clos (Annales ac. agronomiques, 1923, Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 1929, n° 2 Annales d'hygiène publique, 1927).
- Damour*. — Etude chimique de la gadoue de Paris en 1908 (Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, août, septembre et octobre 1919).
- Trömpe (E.)*. — Enlèvement et traitement des ordures ménagères (Congrès de l'Association générale des Hygiénistes et techniciens municipaux, Nantes, 1928).

Delucq (Dr). — La préparation du fumier artificiel (Journal agricole pratique, 21 mars 1934).

Bordas (Dr). — Les inhumations dans les caveaux au-dessus du sol (Annales d'hygiène publique, octobre 1929).

Brouardel (P.) et Dumesnil (D.). — Des conditions d'inhumation dans les cimetières (Annales d'hygiène publique, juillet 1892).

Thierry (Dr H.). — Destruction des corps dans le sol (Cours d'Hygiène sous la direction de MM. Bernard et R. Debré, t. II).
